

INSTITUT FÜR BAUSTOFFE, MASSIVBAU UND BRANDSCHUTZ

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG

DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. DR.-ING. E. h. K. KORDINA · PROF. DR.-ING. F. S. ROSTÁSY

30-0000/1001

B I B L I O T H E K

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig

Beethovenstraße 52

D-3300 Braunschweig

C1-Verteilung und Zustand der Spannglieder
im abgebrochenen Brückenbauwerk Bw 7728/Os
4.6, Überführung der Belmer~~er~~ Straße im Zuge
der A 33 in Osnabrück

von

J. Erdmann
J. Neisecke
K. Kordina

- 1981 -

Die Untersuchungen wurden als Forschungsauftrag F.A. 15.102
R 80 G vom Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Abt.
Straßenbau - im Auftrage des Bundesministers für Verkehr
gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines
2. Arbeitsprogramm und Untersuchungsverfahren .
 - 2.1 Untersuchungen am Bauwerksbeton
 - 2.2 Untersuchungen an den Spanngliedern und dem Spannstahl
3. Ergebnisse der Analysen und Materialuntersuchungen
 - 3.1 Betonqualität
 - 3.2 Cl-Gehalt und Cl-Verteilung im Bauwerksbeton
 - 3.3 Karbonatisierung des Bauwerksbetons
 - 3.4 Zustand der Betonstähle
 - 3.5 Zustand der Hüllrohre
 - 3.6 Zustand des Verpreßmörtels
 - 3.7 Zustand der Spannstähle, mechanisch-technologische Kennwerte
4. Zusammenfassung

1. Allgemeines

Im Zuge des Ausbaus der Ortsumgehung Osnabrück - B51/65 zur A33 wurde das Brückenbauwerk 7728-Os 4.6-Überführung der Belmer-Straße (K17) durch einen Neubau ersetzt. Der Abbruch des alten Bauwerks war für den Herbst 1980 vorgesehen und erfolgte dann in der Zeit zwischen dem 15. und 30.11.1980. Da wegen des inzwischen fertiggestellten Ersatzbauwerkes die Brücke nicht mehr genutzt wurde, bot sie sich für Materialuntersuchungen - z.B. im Hinblick auf den Zustand der Spannbewehrung und des Betons - an. Außerdem konnte hier der Frage nachgegangen werden, ob und in welchem Maße Tausalze, die durch Spritzwasser und durch Wasser, das von Fahrzeugen hoher Geschwindigkeit aufgewirbelt wird, in die Pfeiler oder den Beton der Brückenunterseite eingedrungen sind und dort zu Schäden geführt haben.

Bei dem Bauwerk handelt es sich um eine 1965/66 erbaute Dreifeldbrücke mit einem 19 m langen Mittelfeld und zwei 11 m langen Endfeldern. Der Überbau ist als zweistegiger, längs vorgespannter Plattenbalken von 16 m Breite ausgebildet. In jedem der 4 m breiten und etwa 60 cm hohen Stege liegen 11 Spannglieder vom Typ BBRV 116 von je 42 m Länge parallel nebeneinander. Die Spannglieder enthalten jeweils 48 Spanndrähte der Güte St 1470/1670 (St 150/170), rund/glatt, \varnothing 6 mm. Die vier Stützen haben einen elliptischen Querschnitt mit den Halbmessern $a = 120$ cm und $b = 30$ cm (oben), bzw. $a = 105$ cm und $b = 30$ cm (unten). Skizzen der Seitenansicht des Bauwerks und des Querschnitts im Bereich der Pfeiler zeigen die Abb. 1 und 2. Die Abb. 3 zeigt den Zustand des Überbaus während der Probenentnahme.

Aufgrund der für eine Untersuchung günstigen Gegebenheiten schlug das Niedersächsische Landesverwaltungsamt, Abteilung Straßenbau, dem Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig vor,

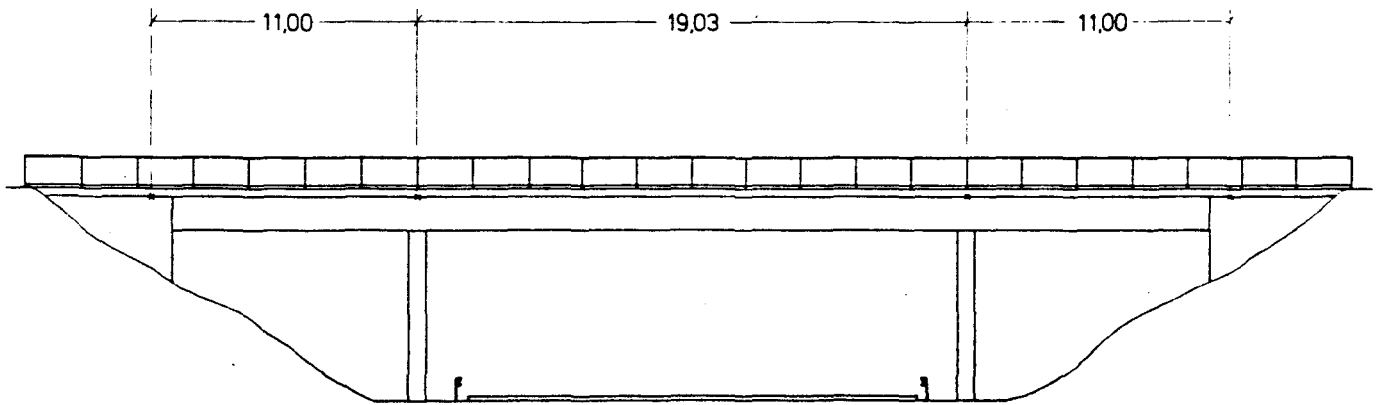


Abb. 1 Skizze der Seitenansicht des Bauwerks
7728/Os 4.6 (nach Entwurfszeichnung
Blatt 2144)

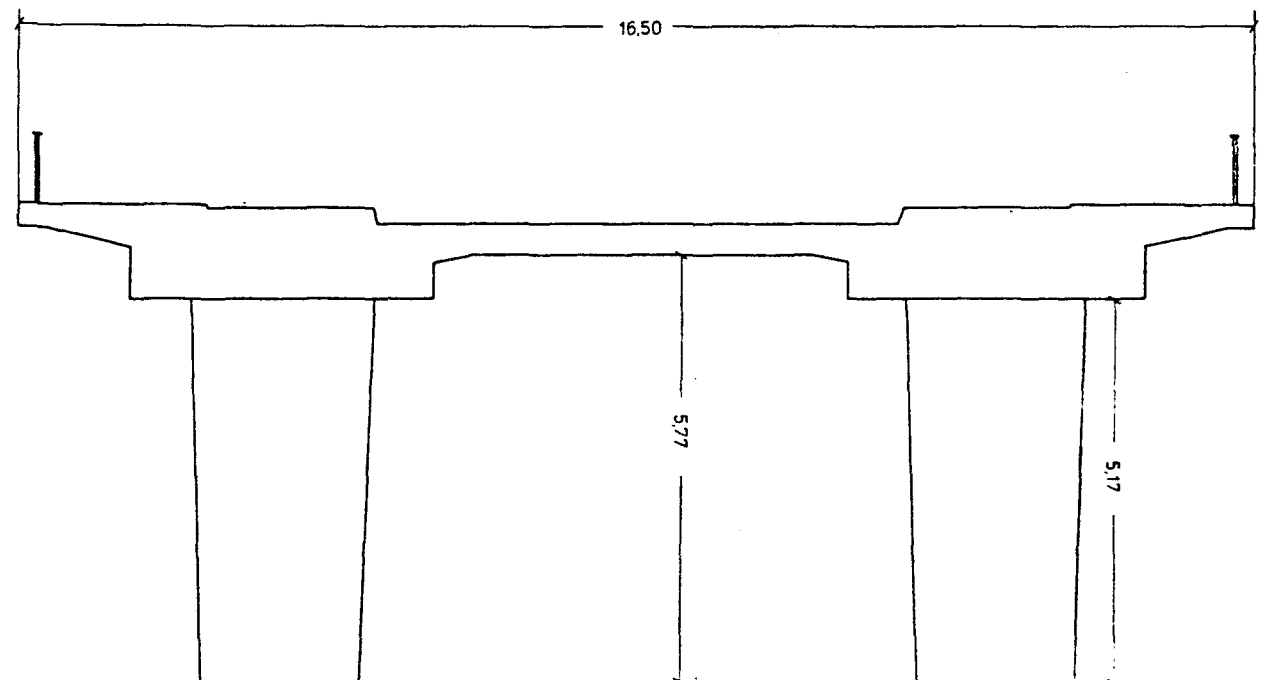


Abb. 2 Skizze des Querschnitts im Bereich der
Stützen des Bauwerks (nach Entwurfs-
zeichnung Blatt 2144)

Stelle dem Niedersächsischen Landesrat, Ing. Dr. G. Straßmann - (Herrn Dr. G. Straßmann und Herrn Dr. G. Straßmann) sowie dem ASNA Osnabrück (Herrn Alldorf) besonders gedankt.

2. Arbeitsprogramm und Untersuchungsverfahren

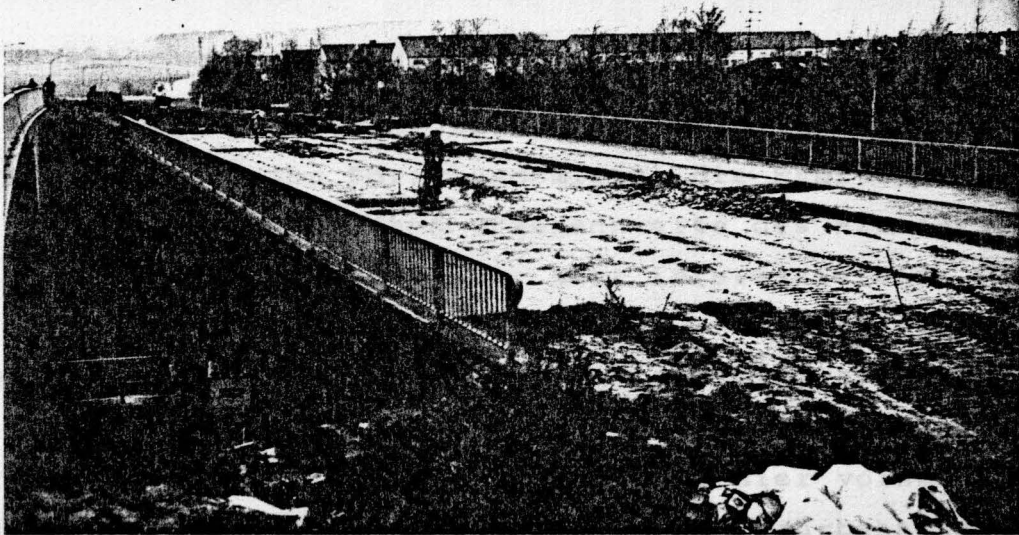


Abb. 3 Zustand der Fahrbahnplattenoberseite während der Probenentnahme und Vorbereitung der Sprengbohrungen im November 1980

am Bauwerk die vorstehend genannten Untersuchungen durchzuführen. Grundlage für die Untersuchungen war ein gemeinsam abgestimmtes Programm, daß sich aus folgenden Bearbeitungsschritten zusammensetzte:

- a) Untersuchung des Cl-Gehaltes im Beton an Fahrbahnplattenober- und -unterseiten und an den Pfeilern
- b) Ermittlung der Karbonatisierungstiefen
- c) Ermittlung des Zustandes der Spannglieder (Korrosion, Verpreßzustand, mechanisch-technologische Eigenschaften des Spannstahls)

Die ursprünglich zusätzlich geplante Ermittlung der mechanisch-technologischen Eigenschaften von Beton und Schlauffbewehrung mußte wegen der nur in einem begrenzten Rahmen vom Bundesminister für Verkehr zur Verfügung gestellten Forschungsmittel zurückgestellt werden. Für die Bereitstellung des Bauwerkes zur Untersuchung seines Erhaltungszustandes sowie für die jederzeit gute Zusammenarbeit und Unterstützungen sei an dieser

Stelle dem Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Abt. Straßenbau - (Herrn Ltd. BD Rabe und Herrn BOR Luesse) sowie dem ASNA Osnabrück (Herrn Alldach) besonders gedankt.

2. Arbeitsprogramm und Untersuchungsverfahren

2.1 Untersuchungen am Bauwerksbeton

Aus dem ursprünglichen Arbeitsprogramm mußte wegen der nur begrenzt vorhandenen Forschungsmittel die Ermittlung der mechanisch-technologischen Gütekennwerte des Bauwerksbetons gestrichen werden, um die hier mehr interessierende Frage nach der Cl-Verteilung und der dadurch ggf. hervorgerufenen Schädigung an den Pfeilern und den Bauwerksuntersichten zu beantworten. Da die unter dem Bauwerk verlaufende Bundesstraße B51/B65 sehr stark befahren ist, konnte bei der hier vorhandenen Bauwerkshöhe von ca. 5,80 m (OK Straße - UK Fahrbahnplatte) davon ausgegangen werden, daß Cl durch aufgewirbeltes Wasser oder Spritzwasser in den Bauwerksbeton eingedrungen war. Über die Cl-Mengen, die auf diesem Wege in den Beton der Unterseiten von Brückenbauwerken über stark befahrenen Straßen eindringen können, liegen bisher nur wenig gesicherte Daten vor.

Die Ermittlung von Cl-Gehalten in Betonbauwerken kann auf zwei Arten geschehen:

- a) Entnahme von Bohrkernen, Zerschneiden der Bohrkern in Scheiben festgelegter Dicke zur Ermittlung der Abhängigkeit des Cl-Gehaltes von der Tiefe im Beton, Pulverisieren der Proben und naßchemische Bestimmung des Gesamtchlorid-Gehaltes nach dem potentiometrischen Verfahren.
- b) Bohrstaubentnahme am Bauwerk mit der Schlagbohrmaschine aus vorher durch Einstellung des Anschlages festgelegten Tiefenbereichen, naßchemische Bestimmung des Gesamtchlorid-Gehaltes aus dem Bohrpulver nach dem potentiometrischen Verfahren.

Gearbeitet wurde hier nach Verfahren b), das besonders dann sehr vorteilhaft ist, wenn eine Bohrkernentnahme, z.B. für Druckfestigkeitsbestimmungen, nicht geplant oder zu aufwendig ist. Die Bohrstaubentnahme hat den großen Vorteil, daß hier mit Sicherheit kein Cl durch Kühlwasser beim Bohren und Schneiden ausgewaschen werden kann. Außerdem lassen sich in vergleichsweise kurzer Zeit mit geringem Aufwand eine große Anzahl von Bohrstaubproben entnehmen.

Der Arbeitsablauf zur Entnahme von Analysenproben aus aufeinander folgenden Tiefenbereichen stellt sich dabei wie folgt dar:

Mit einer handelsüblichen Schlagbohrmaschine (600-800 Watt, drehzahlregulierbar) werden etwa 8 - 10 Löcher auf einer Fläche von $20 \times 20 \text{ cm}^2$ gebohrt. Der an der Maschine vorhandene Anschlag wird dabei auf den ersten Tiefenbereich, z.B. Bohrlochtiefe 1 cm, eingestellt, was in diesem Beispiel eine Analysenprobe aus dem Tiefenbereich 0 - 1 cm Tiefe bedeutet.

Bei einem Bohrdurchmesser von 8 mm reicht der aufgefangene Staub aus 8 - 10 Bohrungen für eine Cl-Analyse völlig aus. Ein Bohrdurchmesser von 8 mm hat sich als besonders zweckmäßig erwiesen, da die zum Bohren erforderliche Andruckkraft auch über längere Zeiträume von zwei sich abwechselnden Arbeitskräften aufgebracht werden kann. Größere Bohrdurchmesser liefern zwar schon bei weniger Bohrstellen genügend Staub für die Analyse, der kräftemäßige Aufwand ist aber besonders bei Entnahmen "über Kopf" so hoch, daß die Arbeitskräfte sehr viel schneller ermüden und daher in gleichen Zeiten weniger Analysenproben entnehmen können. Nachteilig ist zusätzlich, daß bei weniger Bohrungen je Probe die Mittelung über einen vorgegebenen Entnahmebereich schlechter ist als bei einer Mischung (Mittelung) einer Probe aus 8 - 10 Einzelbohrungen.

Als problematisch bei der Bohrstaubentnahme wird vielfach das Auffangen des Analysenmaterials während des Bohrens dargestellt. Von vielen erprobten Möglichkeiten hat sich nach den hier vorliegenden Erfahrungen als am einfachsten und vor allem am wirtschaftlichsten das Aufsetzen sog. Staubfangkappen direkt auf den Bohrer erwiesen. Mit diesen Kappen läßt sich beim Bohren sowohl "über Kopf" als auch an vertikalen Flächen mehr als 90 % des Bohrstaubs auffangen. Dieses Verfahren ist auch bei vergleichsweise rauhen Betonoberflächen noch gut zu verwenden, da die Staubfangkappe bei ausreichend hoher Bohrdrehzahl wie ein Kreisel eine stabile Lage beibehält und trotz häufiger Anstöße am Beton den größten Teil des Bohrstaubes auffängt. Die Staubfangkappen sind als Zubehör zu Schlabohrmaschinen im Fachhandel äußerst preiswert zu erhalten.

Abb. 4 zeigt die Bohrstaubentnahme an einer vertikalen Fläche des Brückensteges. Deutlich sind der Anschlag, der Steinbohrer (\varnothing 8 mm) mit aufgesetzter, roter Staubfangkappe aus Plastik sowie einige Entnahmebohrlöcher zu erkennen. In der Kappe wird der Bohrstaub aus 8 - 10 Bohrlöchern gleicher Tiefe gesammelt und gemischt. In eine kleine, verschließbare Probendose umgefüllt ergibt der Inhalt der Kappe dann eine Analysenprobe. Vor der Bohrstaubentnahme aus dem folgenden Tiefenbereich (z.B. hier 1-2 cm) werden alle Bohrlöcher mit einem Blasebalg (vgl. Abb. 5) sorgfältig ausgeblasen, um die Durchmischung von Bohrstaub aus unterschiedlichen Tiefenbereichen auszuschließen. Nach entsprechender Einstellung des Anschlages können dann die Bohrstaubproben des nachfolgenden Tiefenbereiches entnommen werden. Da der an der Spitze des Bohrers eingesetzte Meißel aus Spezialstahl breiter ist als der gesamte Bohrerschaft, besteht keine Gefahr, daß aus dem vorhergehenden Tiefenbereich noch Bohrstaub in einer Menge abgelöst wird, der das Analyseergebnis verfälschen kann. Mit diesem Verfahren können bis zu Tiefen von 6 cm und mehr Bohrstaubproben für die Cl-Analyse ohne großen Aufwand entnommen werden. Zu beachten ist, daß vor jeder Probenahme im folgenden Tiefenbereich die Bohrlöcher und die Staubfangkappe von noch vorhandenem Bohrstaub der vorhergehenden Bohrung sehr sorgfältig gereinigt werden müssen (ausblasen, auspinseln).

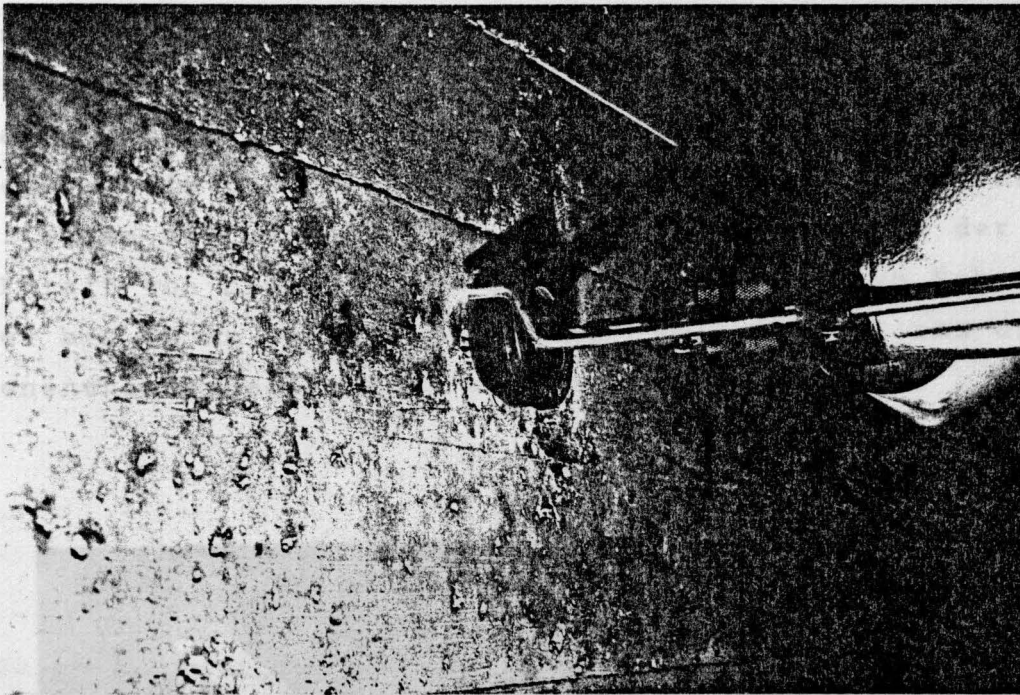


Abb. 4 Entnahme von Bohrstaub für die Cl-Analyse mit der Schlagbohrmaschine und aufgesetzter Staubfangkappe (rot)



Abb. 5

Ausblasen einer Entnahmestelle für Bohrstaub zur Cl-Analyse vor der Entnahme im nächsten Tiefenbereich

Auf waagerechten Flächen, z.B. auf Fahrbahn- oder Brückenoberseiten, ist der Einsatz von Staubfangkappen naturgemäß nicht möglich. Hier muß der Staub mit einem Spatel oder einem schmalen Löffel aus der Bohrung entnommen werden, was bei größerer Tiefe und kleinem Bohrlochdurchmesser problematisch wird. Wegen des wesentlich einfacheren Aufbringens der Andruckkraft von oben, können in diesem Fall jedoch Bohrerdurchmesser bis 20 mm eingesetzt werden (vgl. Abb. 6) was die Probenentnahme dann wieder wesentlich vereinfacht.



Abb. 6 Entnahme von Bohrstaub für die Cl-Analyse an waagerechten Betonoberflächen mit dem Löffelspatel

Der Bohrstaub wird anschließend im Labor - sofern erforderlich - noch gemörsert und getrocknet. Anschließend wird der Gesamtchloridgehalt nach dem potentiometrischen Verfahren bestimmt.

Die Entnahme von Bohrstaub am Brückenbauwerk wurde an der Fahrbahnplattenunterseite längs Entnahmelinien durchgeführt, die über beiden Fahrbahnen der B51/65 und parallel zu diesen verliefen. Weitere Entnahmestellen befanden sich in den beiden Endfeldern der Brückenunterseite. An den vier Pfeilern wurden je zwei Entnahmehorizonte - in 50 cm und in 150 cm Höhe vom Erdboden rings um das Bauteil herum - angelegt. Auf der Brückenoberseite lagen die Entnahmestellen für Bohrstaub auf den Fuß- und Radwegen beider Endfelder sowie des Mittelfeldes. Genaue Auskunft über die Lage der Entnahmestellen an den Fahrbahnplattenober- und -unterseiten gibt Abb. 12, über die Entnahmestellen der Stützen informieren die Skizzen in den Tabellen III und IV in Verbindung mit Abb. 12.

Ein weiterer Untersuchungsabschnitt galt der Beantwortung der Frage nach der Karbonatisierung des Bauwerksbetons. Auch hier wird die Schlagbohrmaschine mit einem Bohrerdurchmesser von ca. 10 mm eingesetzt. Dabei wird das Bohrloch in kleinen Schritten von ca. 1 mm stufenweise so lange vertieft, bis sich beim Besprühen mit Phenolphthalein-Lösung in der Bohrlochspitze erstmals der rote Farbumschlag zeigt, der einen pH-Wert > 9 entspricht. Die Bohrlochtiefe - ausgemessen mit einer Schieblehre - gibt dann direkt die Karbonatisierungstiefe an. Diese Prüfung ist an einer Vielzahl von Meßstellen schnell, einfach und sicher durchzuführen. Zu beachten ist lediglich, daß nach jedem Bohren bzw. vor dem Einsprühen mit Phenolphthalein-Lösung das Bohrloch sorgfältig mit einem Blasebalg ausgeblasen wird. Ein Beispiel für eine Betonoberfläche ohne nennenswerte Karbonatisierungstiefe zeigt Abb. 7. Hier hat sich bereits der erste, sehr flache Bohrlochkegel beim Besprühen mit Phenolphthalein-Lösung (1 %-tig, alkoholisch) deutlich rot verfärbt. Die Karbonatisierungstiefen wurden während der Bohrstaubentnahme für die Cl-Analyse an möglichst vielen Bereichen des Bauwerks an Ober- und Unterseite sowie an den Stützen bestimmt.

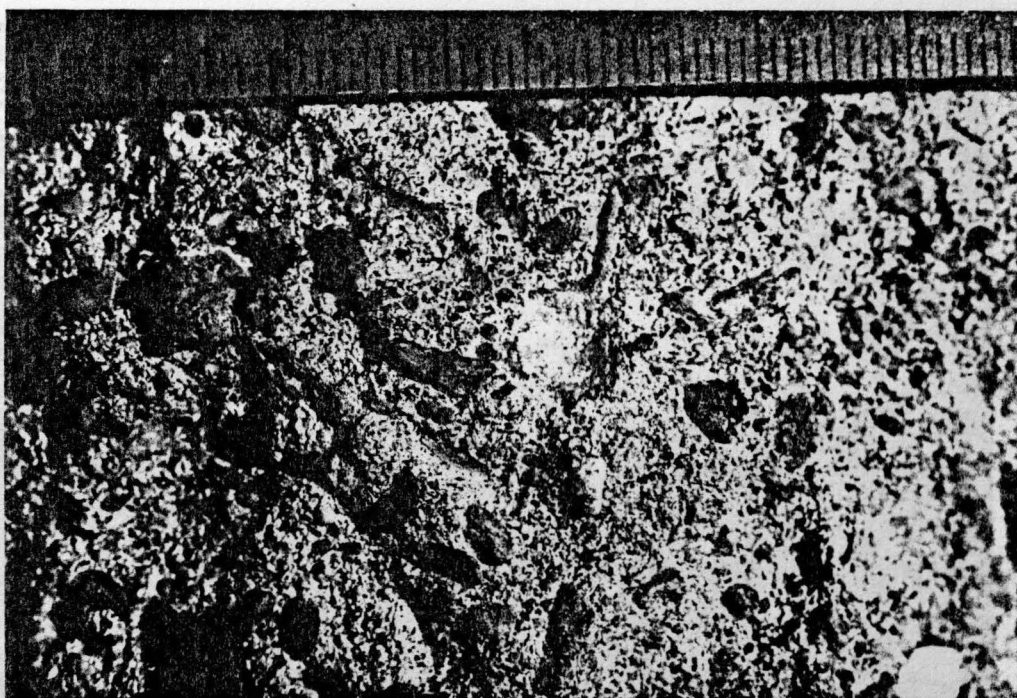


Abb. 7 Prüfung der Karbonatisierungstiefe mit Schlagbohrmaschine und Phenolphthalein-Lösung. Da der Farbumschlag der farblosen Lösung nach "rot" erst bei $\text{pH} > 9$, also im nichtkarbonatisierten Beton erfolgt, ist der hier gezeigte Beton bisher nicht karbonatisiert.

2.2 Untersuchungen an den Spanngliedern und dem Spannstahl

Die Entnahme von Spannstählen erfolgte an den Hochpunkten der Spannglieder über den Pfeilern. Das Freistemmen von Spanngliedern war nur hier möglich, da ein Aufstemmen im Bereich der Tiefpunkte an der Fahrbahnplattenunterseite wegen des unter der Brücke noch fließenden Verkehrs nicht möglich war. Dem Vorteil einer ungestörten Entnahme (durch zwischenzeitlich erfolgte Verlegung des Verkehrs auf den bereits fertiggestellten Neubau) stand der Nachteil einer großen Betonüberdeckung durch die nachträglich mit den Kappen aufbetonierten Radwege und Schrammborde sowie der sehr hohe Bewehrungsgehalt über den Spanngliedhochpunkten im Bereich der Pfeiler gegenüber. Die Abb. 8, 9 und 10 zeigen den bereits abgeräumten Beton des Radweges an der Öffnungsstelle sowie die Stemmarbeiten und die Vielzahl der zu beseitigenden Betonstähle oberhalb der Spanngliedlage.



Abb. 8 Abgestemmte Schrammbordkappe im Bereich des Fahrradweges an der Öffnungsstelle über Pfeiler I (vgl. Abb. 12)



Abb. 9

Stemmarbeiten mit schwerem Preßlufthammer zum Freilegen der Bewehrungsstäbe oberhalb der Spanngliedlage



Abb. 10 Heraustrennen freigestemmter Bewehrungsstäbe \varnothing 26 mm oberhalb der Spanngliedlage

Zur Freilegung der Spannglieder am Hochpunkt mußten hier 15 Betonstäbe \varnothing 26 mm, 7 Betonstäbe \varnothing 16 mm, 30 Betonstäbe \varnothing 12 mm und 30 Bügel \varnothing 16 mm freigestemmt und herausgetrennt werden. Dieser hohe Arbeitsaufwand bewirkte, daß trotz Unterstützung durch das ASNA-Osnabrück und trotz des Einsatzes von schwerem Stemmgerät durch das Abbruchunternehmen nur 11 Spannglieder im Hochpunkt oberhalb des Pfeilers I inspiziert werden konnten. Ursprünglich war geplant, auch die 11 Spannglieder des zweiten Steges im gegenüberliegenden Hochpunkt wenigstens anzubohren und mit dem Endoskop zu inspizieren. Wegen des hohen Bewehrungsgehaltes gelang es jedoch nicht, mit Preßluftbohrern, die für die Vorbereitung der Sprenglöcher am Bauwerk eingesetzt waren, die entsprechenden Spannglieder zu treffen. Alle angesetzten Bohrungen endeten auf Bewehrungs-eisen, so daß der Versuch, zusätzliche Inspektionsbohrungen herzustellen, abgebrochen werden mußte.

An der Öffnungsstelle über Pfeiler I (zur Lage s. Abb. 12) wurden trotz größter Schwierigkeiten alle 11 Spannglieder soweit oberseitig freigestemmt, daß der Zustand der Hüllrohre und der Verpressung festgestellt werden konnte. Ein Spannglied

wurde auf eine Länge von ca. 1,30 m völlig freigelgt, um diesen Abschnitt entnehmen zu können. Die dabei gewonnenen Spannstahlabschnitte wurden im Labor hinsichtlich Schädigungen infolge Korrosion untersucht und anschließend einer Güteprüfung unterzogen. Die Prüfung der Festigkeits- und Verformungskennwerte erfolgte in einer Amsler Universalprüfmaschine mit automatischer Aufzeichnung der Verformung (induktive Wegaufnehmer) und der Last auf einem XY-Schreiber (Last-Verformungs-Diagramm) entsprechend DIN 50 145. Die Dauerschwingversuche zur Ermittlung der Dauerschwingfestigkeit wurden im Hochfrequenzpulsator entsprechend DIN 50 100 unter Beachtung der "Richtlinie für Zulassungs- und Überwachungsprüfungen an Spannstahl", Anlage 1, (1977) durchgeführt.

3. Ergebnisse der Analysen und Materialuntersuchungen

3.1 Betonqualität

Wie eingangs bereits erläutert worden war, standen Mittel zur Bohrkernentnahme und für eine Bestimmung der mechanisch-technologischen Gütekennwerte des Betons nicht zur Verfügung. In Ermangelung exakter Meßwerte sollen hier zur Vervollständigung des Berichtes jedoch wenigstens die Beobachtungen mitgeteilt werden, die eine Abschätzung der Betongüte und der Ausführungsqualität in erster Näherung ermöglichen können:

- a) Der Beton des Überbaus (zur Zeit der Ausführung war 1965 ein B300 geplant) zeigte keine Auffälligkeiten wie Risse, Ausblühungen oder Abplatzungen. Lediglich auf den Oberseiten der Schrammbordkappen im Bereich der Fuß- und Radwege war die Betonoberfläche etwas abgewittert und zeigte eine waschbetonähnliche Struktur (vgl. Abb. 11).
- b) Die Stemmarbeiten am Beton des Überbaus zur Freilegung der Spannglieder gestalteten sich äußerst schwierig und waren sehr mühevoll, da der Beton sehr fest und widerstandsfähig gegenüber der Beanspruchung des Preßlufthammers war. Die Feststellungen, daß sich der Beton sehr fest und

widerstandsfähig gegenüber mechanischer Zerstörung erwies, wurde von den Mitarbeitern der Abbruchfirma, die die Bohrlöcher herstellten, ohne jede Einschränkung bestätigt.

Die Beobachtungen nach a) und b) berechtigen demnach zu der sehr wahrscheinlichen Annahme, daß der Beton des Bauwerks von sehr guter Qualität war und eine Druckfestigkeit aufwies, die den ursprünglich geplanten Wert weit übertraf.



Abb. 11 Zustand der Betonoberflächen im Bereich der Fuß- und Radwege

3.2 Cl-Gehalt und Cl-Verteilung im Bauwerksbeton

Die Ermittlung des Cl-Gehaltes und seine Verteilung im Bauwerk in Abhängigkeit vom Abstand der Entnahmestelle von der jeweiligen Betonoberfläche ("Tiefe") war neben der Ermittlung des Zustandes der Spannglieder und der Spannstähle ein zentraler Bearbeitungsabschnitt des Forschungsauftrages. Besonders Augenmerk galt hier der Beantwortung der Frage, ob und in welchem Maße am vorliegenden Bauwerk Tausalz durch Spritzwasser oder durch Wasser, welches durch schnell unter der Brücke hindurch fahrende PKW's und LKW's aufgewirbelt wird, eindringen konnte.

Zur Probenentnahme wurden daher unter der Fahrbahnplatte und den Stegen über beiden Fahrtrichtungen der unter der Brücke verlaufenden, sehr stark befahrenen Bundesstraße 51/65 Entnahmequerschnitte mit jeweils 9 Entnahmestellen festgelegt. Proben wurden ebenfalls in den Endfeldern sowie in unterschiedlichen Höhen aus den Pfeilern entnommen. Die einzelnen Orte der Probenentnahmen an Fahrbahnplattenober- und -unterseite können aus der Skizze von Abb. 12 entnommen werden.

Zunächst wurde an einigen Probekörpern aus dem Bauwerksinneren, die im Bereich von Bohrungen für die Sprenglöcher sowie beim Freilegen der Spannglieder angefallen waren, der wahrscheinliche Ausgangs-Chloridgehalt des Bauwerksbetons ermittelt. Es ergab sich ein mittlerer Cl-Gehalt von 0,012 - 0,016 Gew.-%, bezogen auf das Betongewicht. Durch Multiplikation dieser Werte mit dem Faktor 6,5 (Erfahrungswert, der sich aus dem Gewichtsverhältnis von Zement und Zuschlag bei Betonen der hier vorliegenden Güteklasse ergibt) folgt für Vergleichszwecke mit sehr guter Näherung der entsprechende Cl-Gehalt in Gew.-%, jetzt jedoch bezogen auf den Zementgehalt. Die hier gefundenen Werte für den Ausgangs-Chloridgehalt des Betons liegen an der unteren Grenze der bisher an anderen Bauwerken ermittelten Cl-Grundgehalte.

In Tab. I sind die an der Brückenunterseite in den Tiefenbereichen 0 - 1 cm, 1 - 3 cm und 3 - 5 cm ermittelten Cl-Gehalte in Gew.-%, bezogen auf das Betongewicht, zusammengestellt. Die einzelnen Fächer der Tabelle wurden nur dann mit einem Analyseergebnis gefüllt, wenn dies zur Verbesserung der Gesamtübersicht unbedingt erforderlich war (in diesem Zusammenhang soll bemerkt werden, daß die Cl-Analyse ein sehr teurer Untersuchungsabschnitt ist, so daß die Notwendigkeit jeder Analyse besonders sorgfältig überlegt werden muß). Ein Vergleich der Ergebnisse aus den Tabellen mit dem Ursprungschloridgehalt zeigt, daß sich der Cl-Gehalt hier in oberflächennahen Bereichen ungünstigstenfalls verdoppelt hat. Der gefundene Maximalwert beträgt absolut 0,023 Gew.-% (Ausgangs-Chloridgehalt: 0,012-0,016 Gew.-%). Relativ gesehen ist selbst dieser Höchstwert im Hinblick auf Cl-Korrosion unbedenklich.

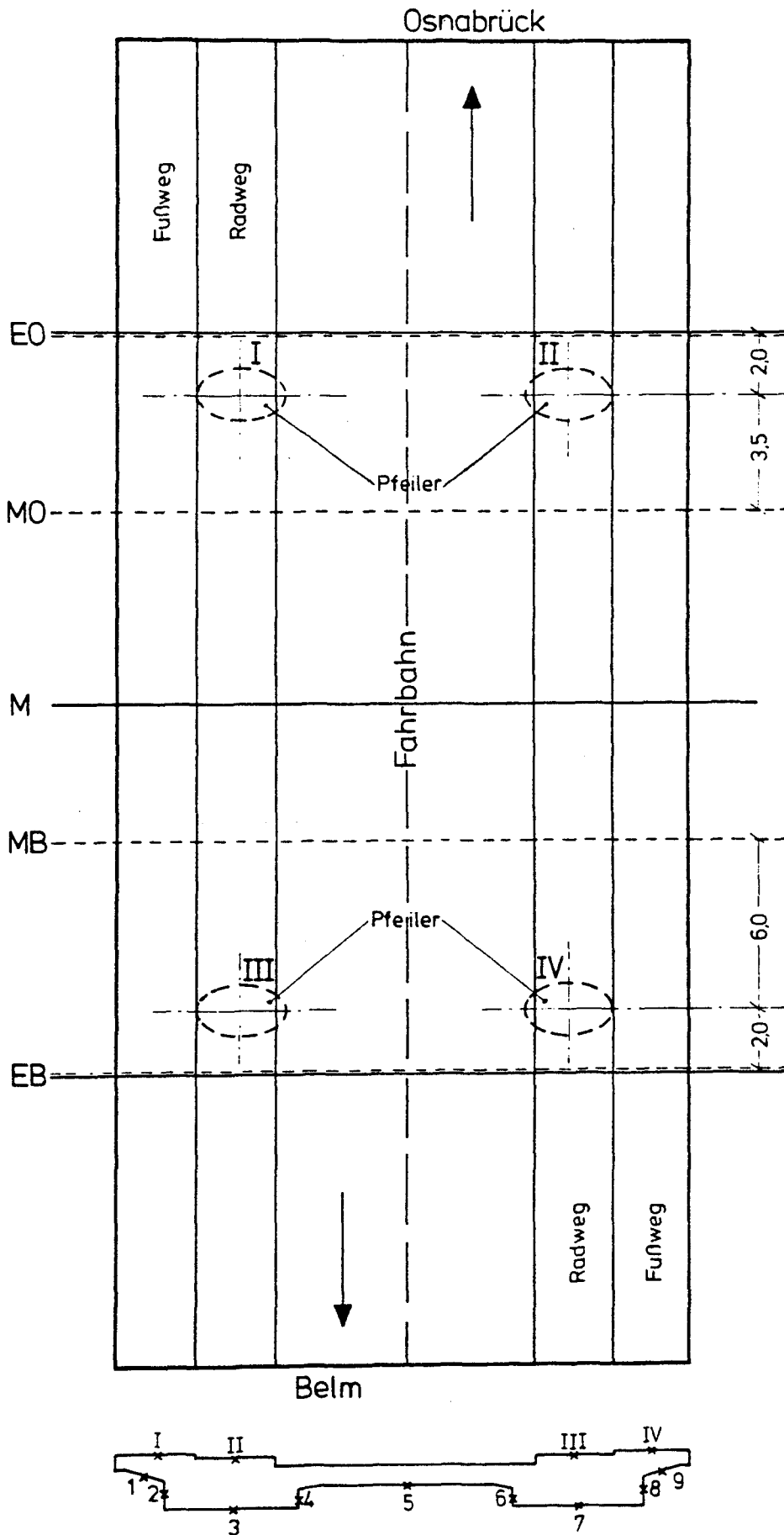


Abb. 12 Entnahmestellen von Bohrstaubproben für die Cl-Analyse an Ober- und Unterseite der Fahrbahnplatte

| Entnahme- querschnitt | Tiefe (cm) | Meßstelle | | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Endfeld Osnabrück E O | 0 - 1 | - | - | 0,020 | - | 0,019 | - | 0,016 | - | - |
| | 1 - 3 | - | - | - | - | 0,017 | - | - | - | - |
| | 3 - 5 | - | - | - | - | 0,012 | - | - | - | - |
| Mittelfeld Osnabrück M O | 0 - 1 | 0,014 | 0,017 | 0,016 | 0,020 | 0,013 | 0,022 | 0,019 | 0,012 | 0,018 |
| | 1 - 3 | - | - | - | 0,022 | 0,017 | - | - | 0,023 | - |
| | 3 - 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Mittelfeld Belm M B | 0 - 1 | 0,019 | 0,023 | 0,016 | 0,017 | 0,016 | 0,020 | 0,018 | 0,017 | 0,016 |
| | 1 - 3 | - | 0,021 | - | - | 0,017 | 0,018 | - | - | - |
| | 3 - 5 | - | - | - | - | 0,015 | - | - | - | - |
| Endfeld Belm E B | 0 - 1 | - | - | 0,016 | - | 0,016 | - | 0,013 | - | - |
| | 1 - 3 | - | - | - | - | 0,014 | - | - | - | - |
| | 3 - 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tab. I Cl-Gehalte in % (bezogen auf das Betongewicht) an den Meßstellen der
Fahrbahnplattenunterseite (zur Lage der Meßstellen vgl. Abb. 12)

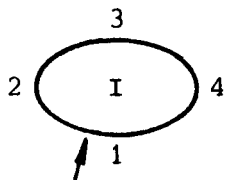
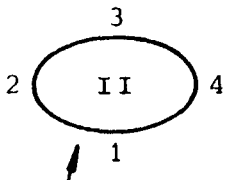
Nach bisheriger Erfahrung und Anschauung werden erst Cl-Gehalte über ca. 0,060 Gew.-% (\approx 0,4 Gew.-% bzgl. Zementgewicht) als bedenklich - weil korrosionsauslösend - angesehen.

Diese vergleichsweise geringen und daher auch unbedenklichen Werte können ihre Ursache in der guten Ausführungsqualität und der damit verbundenen guten Wasserundurchlässigkeit des Betons haben. Für eine hohe Dichtigkeit der Betonoberflächen sprechen auch die sehr geringen Karbonatisierungstiefen (vgl. Abschnitt 3.3). Andererseits sprechen die höheren Werte an dem von Spritzwasser erreichten Pfeilern und an den Bauwerksoberseiten aber auch dafür, daß durch aufgewirbeltes Wasser (hervgerufen durch schnell fahrende Fahrzeuge) nur sehr wenig Tausalz an die Unterseiten von Brücken über stark befahrenen Fahrbahnen gelangen kann. Das gelegentlich in Tab. I und den folgenden Tabellen zu beobachtende Phänomen, daß Cl-Gehalte in der Tiefenlage (1 - 3 cm) höher sind als in der Oberflächenschicht (0 - 1 cm), wird in der Praxis häufig beobachtet und stellt keine Besonderheit dar. Dieser Effekt erklärt sich plausibel durch Cl-Auswaschungen in den oberflächennahen Bereichen in frostfreien Jahreszeiten ohne Tausalzeinsatz. Im Tiefenbereich 3 - 5 cm geht der Cl-Gehalt dann wieder auf den ursprünglichen Ausgangswert zurück.

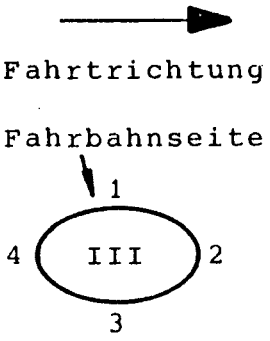
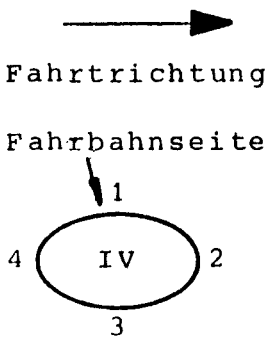
Auf der Fahrbahnplattenoberseite wurden im Bereich der oberseitig ungeschützten Fuß- und Radwege i.M. zwar höhere Cl-Konzentrationen von 0,030 Gew.-% gefunden als an der Brückenunterseite, von einer Meßstelle abgesehen waren aber auch hier alle übrigen Werte noch als unbedenklich anzusehen (vgl. Tab. II). In den Tabellen III und IV ist das Ergebnis der Cl-Analyse an den vier Pfeilern des Brückenbauwerks zusammengefaßt. Diese Bauteile werden in erster Linie durch Spritzwasser beaufschlagt. Auch hier zeigt sich ein im Mittel höherer Cl-Gehalt als an der Brückenunterseite. Die bisher zulässige Höchstgrenze von 0,060 Gew.-% wird im Tiefenbereich 0 - 2 cm jedoch nur zwei Mal geringfügig und nur ein Mal deutlich überschritten (0,090 Gew.-%).

| Entnahme- querschnitt | Tiefe (cm) | Meßstellen | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | I (Fußweg) | II (Radweg) | III (Radweg) | VI (Fußweg) |
| Endfeld Osna- brück EO | 0 - 2 | 0,022 | 0,081 | 0,023 | 0,041 |
| | 2 - 4 | 0,024 | 0,059 | 0,020 | 0,037 |
| Mittelfeld M | 0 - 2 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,026 |
| | 2 - 4 | 0,020 | 0,029 | 0,018 | 0,023 |
| Endfeld Belm E B | 0 - 2 | 0,018 | 0,039 | 0,028 | 0,032 |
| | 2 - 4 | 0,016 | 0,027 | 0,033 | 0,028 |

Tab. II Cl-Gehalte in % (bezogen auf das Betongewicht) an den Meßstellen der Fahrbahnplattenoberseite (zur Lage der Meßstellen vgl. Abb. 12)

| Lage der Meßstellen am Pfeiler | Abstand vom Erdboden (cm) | Tiefe (cm) | Meßstellen | | | |
|---|---------------------------|------------|------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|  Fahrbahnseite Fahrtrichtung | 50 | 0 - 2 | 0,052 | 0,026 | 0,022 | 0,092 |
| | | 2 - 4 | 0,027 | 0,019 | 0,018 | 0,026 |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |
| | 150 | 0 - 2 | 0,045 | - | - | - |
| | | 2 - 4 | 0,024 | - | - | - |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |
|  Fahrbahnseite Fahrtrichtung | 50 | 0 - 2 | 0,058 | 0,052 | 0,042 | 0,063 |
| | | 2 - 4 | 0,027 | 0,019 | 0,020 | 0,019 |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |
| | 150 | 0 - 2 | 0,046 | - | - | - |
| | | 2 - 4 | 0,024 | - | - | - |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |

Tab. III Cl-Gehalte in % (bezogen auf das Betongewicht) an den Meßstellen der Pfeiler I u. II neben der Fahrbahn in Fahrtrichtung Bremen (vgl. Abb. 12)

| Lage der Meßstellen am Pfeiler | Abstand vom Erdboden (cm) | Tiefe (cm) | Meßstellen | | | |
|--|---------------------------------|---------------|------------|-------|-------|-------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
|  | 50 | 0 - 2 | 0,038 | 0,040 | 0,030 | 0,028 |
| | | 2 - 4 | 0,016 | 0,017 | 0,017 | 0,020 |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |
| | 150 | 0 - 2 | 0,038 | 0,045 | 0,026 | 0,030 |
| | | 2 - 4 | 0,020 | 0,019 | 0,018 | 0,020 |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |
|  | 50 | 0 - 2 | 0,038 | 0,023 | 0,028 | 0,038 |
| | | 2 - 4 | 0,020 | 0,017 | 0,019 | 0,018 |
| | | 4 - 6 | 0,016 | - | - | - |
| | 150 | 0 - 2 | 0,051 | 0,028 | 0,031 | 0,066 |
| | | 2 - 4 | 0,021 | 0,019 | 0,016 | 0,036 |
| | | 4 - 6 | - | - | - | - |

Tab. IV Cl-Gehalte in % (bezogen auf das Betongewicht) an den Meßstellen der Pfeiler III und IV neben der Fahrbahn in Fahrtrichtung Holland (vgl. Abb. 12)

Die der Fahrbahn zugewandte Seitenfläche der Pfeiler und die dem Verkehr entgegenstehende Stirnfläche weisen in der Regel die höchsten Cl-Gehalte auf. Ein signifikanter Unterschied im Cl-Gehalt zwischen den Entnahmehöhen von 50 cm und 150 cm wurde nicht festgestellt. Bei den Pfeilern kann aufgrund der Cl-Verteilung davon ausgegangen werden, daß der Cl-Gehalt im Tiefenbereich 4 - 6 cm auf den ursprünglichen Ausgangswert von 0,012 - 0,016 zurückgeht.

3.3 Karbonatisierung des Betons

Parallel zur Probenentnahme für die Cl-Analyse wurden die Karbonatisierungstiefen mittels Phenolphthalein-Lösung ermittelt. Es ergaben sich dabei für ein 16 Jahre altes Bauwerk vergleichsweise geringe Karbonatisierungstiefen:

Brückenunterseite: i.M. 1 mm, max. 2 mm Karbonatisierungstiefe

Brückenoberseite: i.M. 2 mm, max. 5 mm Karbonatisierungstiefe
(Radweg, Fußweg) in Einzelfällen (zum Zustand des Betons
vgl. Abb. 11)

Pfeiler : i.M. 1 - 2 mm, max. 5 mm Karbonatisierungstiefe in Einzelfällen

Bemerkenswert sind die geringen Karbonatisierungstiefen der Pfeiler, an denen die Betonoberflächen aus optischen Gründen abgespitzt und damit viele Poren zusätzlich freigelegt wurden. Einen Eindruck von der Betonoberfläche der Pfeiler mit einer Meßstelle für die Karbonatisierungstiefe zeigt Abb. 13.

3.4 Zustand der Betonstähle

Ebenso wie die mechanisch-technologischen Untersuchungen am Beton wurde auch die Ermittlung von Gütekennwerten am Betonstahl wegen fehlender Mittel zurückgestellt. Der Vollständigkeit halber sollen aber auch hier, ähnlich wie unter Abschnitt 3.1 zur Betonqualität, die Beobachtungen an freigelegten Betonstählen festgehalten werden. Beim Freilegen der Spannglieder



Abb. 13 Oberflächenzustand der abgespitzten Pfeilerflächen, hier mit einer Meßstelle für die Karbonatisierung

mußte eine größere Anzahl Betonstähle mit Durchmessern zwischen 12 und 26 mm entnommen werden (vgl. Abschnitt 2.2). Diese Stähle waren äußerlich einwandfrei und zeigten keine Korrosion. Einen Eindruck vom Zustand dieser Stähle vermitteln die Abb. 14 und 15. Die bereichsweise zu beobachtenden hellroten Rostflecke sind frisch und stammen von Regenfällen während der Stahlentnahme. Der äußere Zustand gibt somit keinen Hinweis darauf, daß sich die mechanisch-technologischen Gütekennwerte der Betonstähle während der 16-jährigen Nutzungsdauer nachteilig verändert haben.

3.5 Zustand der Hüllrohre

Die Lage der Spannglieder im Öffnungsbereich des Hochpunktes über Pfeiler I konnte nach der Entfernung der letzten Betonstahlbewehrungslage und des darunter liegenden Betons anhand der senkrecht aufragenden Entlüftungsstütze erkannt werden (vgl. Abb. 16). Die Spannglieder wurden oberseitig in kleinen Bereichen freigestemmt, um einen Eindruck vom äußeren Zustand des Hüllrohres gewinnen zu können.



Abb. 14 Zustand entnommener Betonstähle.
Die kleinen Rostflecken sind frisch
und wurden durch Regenfälle während
der Entnahme hervorgerufen.



Abb. 15 Zustand entnommener Betonstähle.
Die kleinen Korrosionsflecken sind
frisch und wurden durch Regenfälle
während der Entnahme hervorgerufen.



Abb. 16 Entlüftungsstützen in den Hochpunkten der Spannglieder kennzeichnen in der Öffnungsstelle die Spanngliedlage

Abgesehen von mechanischen Beschädigungen, die - wie die frischen Schleif- und Kratzspuren zeigten - während der sehr schwierigen Freilegungsarbeiten entstanden waren, konnten keine nennenswerten Beschädigungen oder ein Korrosionsbefall festgestellt werden. Stellvertretend für den äußeren Zustand der Spannglieder zeigen die Abbildungen 17 (in der Übersicht) und 18 (im Detail) den guten äußeren Zustand der Hüllrohre.

Im Inneren waren die Hüllrohre aufgrund des guten Verpreßzustandes metallisch blank und dementsprechend in hervorragendem Zustand (vgl. Abb. 19-21).

3.6 Zustand des Verpreßmörtels

Die in der vorgenannten Öffnungsstelle bereichsweise freigelegten Spannglieder waren alle vollständig verpreßt. Der Verpreßmörtel zeigte die typisch dunkle, zementgraue Farbe (vgl. z.B. Abb. 19). In dem vollständig freigelegten und entnommenen Spannglied war der Mörtel blasenfrei und füllte das Spannglied völlig aus.



Abb. 17 Freigelegtes Hüllrohr beim Aufschneiden mit einer Trennscheibe

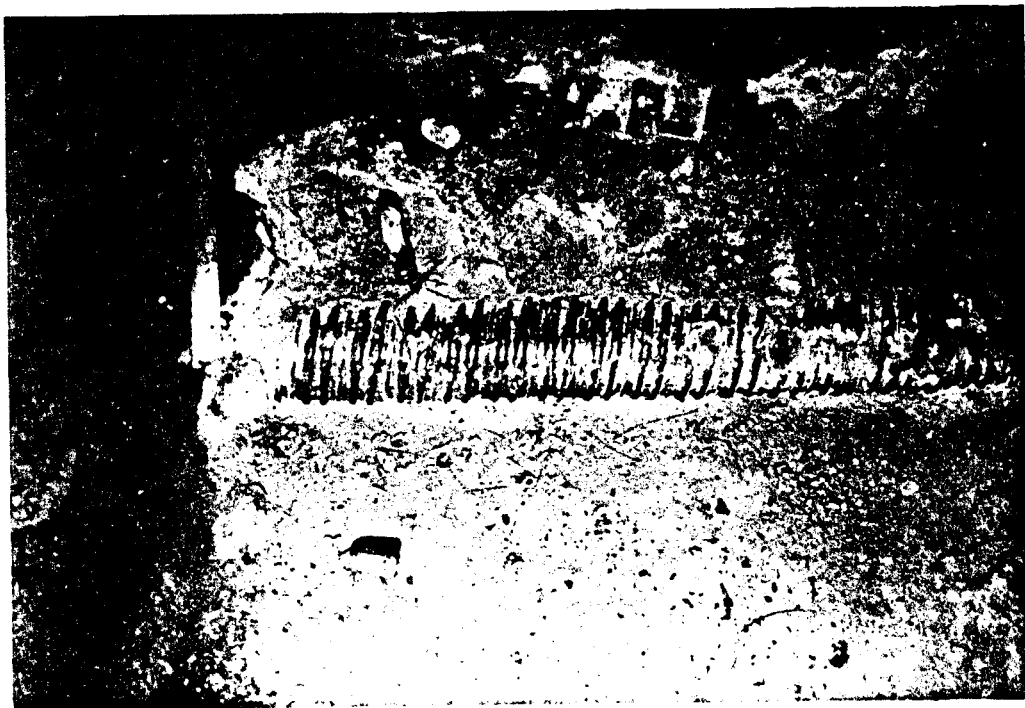


Abb. 18 Linke Hälfte des freigelegten Hüllrohres aus Abb. 17 zur Dokumentation des Oberflächenzustandes



Abb. 19 Spannglied nach dem Aufschneiden und Aufbiegen des Hüllrohres mit vollständiger Verpressung

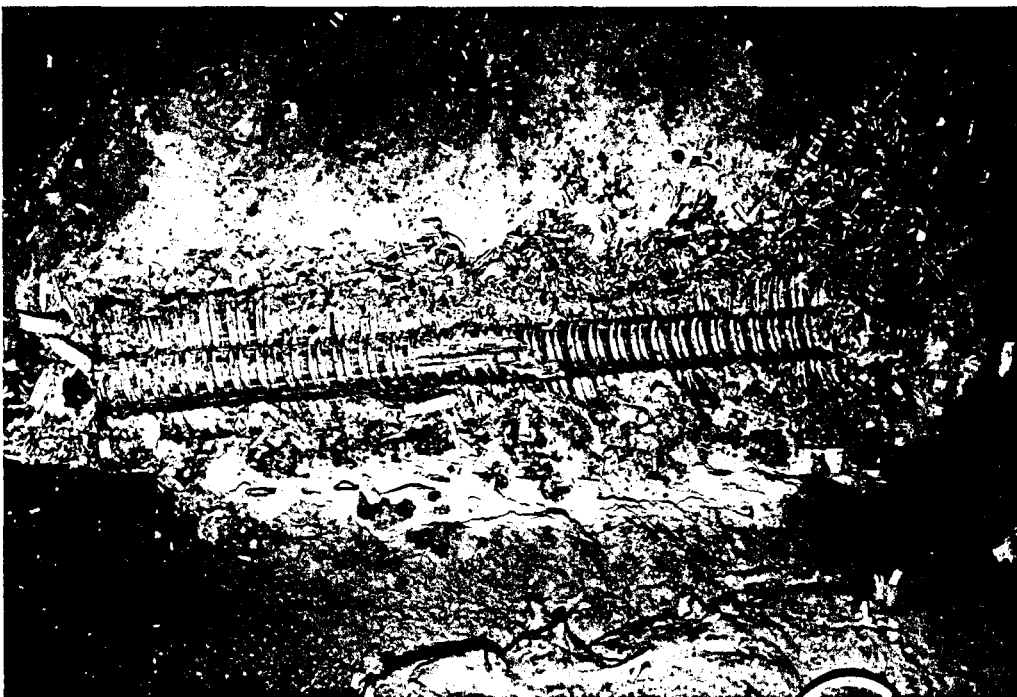


Abb. 20 Spannglied nach der Entnahme von Verpreßmörtel und Spann Stahl. Das Hüllrohrinnere ist spiegelblank (vgl. Abb. 21)

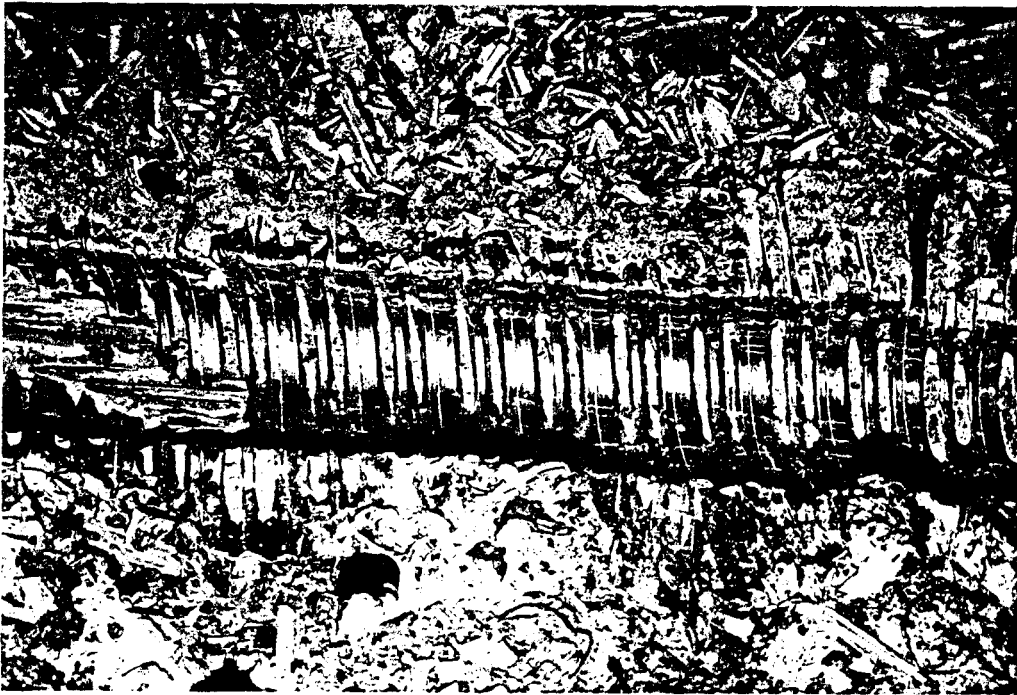


Abb. 21 Detail aus Abb. 20. Völlig rostfreie Hüllrohrinnenseiten nach 16-jähriger Nutzung infolge vollständiger Ausfüllung mit Verpreßmörtel

Höhlräume oder Porenräume mit Durchmessern größer als 0,5 mm wurden nicht gefunden. Der Cl-Gehalt des Mörtels lag mit 0,016 Gew.-%, bezogen auf den Zementgehalt, weit unterhalb des derzeit zulässigen Wertes von 0,1 Gew.-%.

Insgesamt gesehen befand sich der Verpreßmörtel in einem ausgezeichneten Zustand, der alle Anforderungen erfüllte und dementsprechend auch Korrosionsschäden am Hüllrohr und Spannstahl sicher verhindern konnte und auch noch weiter verhindert hätte.

3.7 Zustand der Spannstähle, mechanisch-technologische Kennwerte

Aufgrund der in Abschnitt 3.6 geschilderten vollständigen Verpressung der Spannglieder und des Fehlens unzulässig hoher Cl-Konzentrationen war der entnommene Spannstahl optisch nahezu einwandfrei. Die Abbildungen 22 und 23 zeigen die Spanndrähte der Stahlgüte St 1470/1670 (St 150/170) Ø 6 mm, etwa in Originalgröße. Die Oberflächen sind blau-grau und glatt.

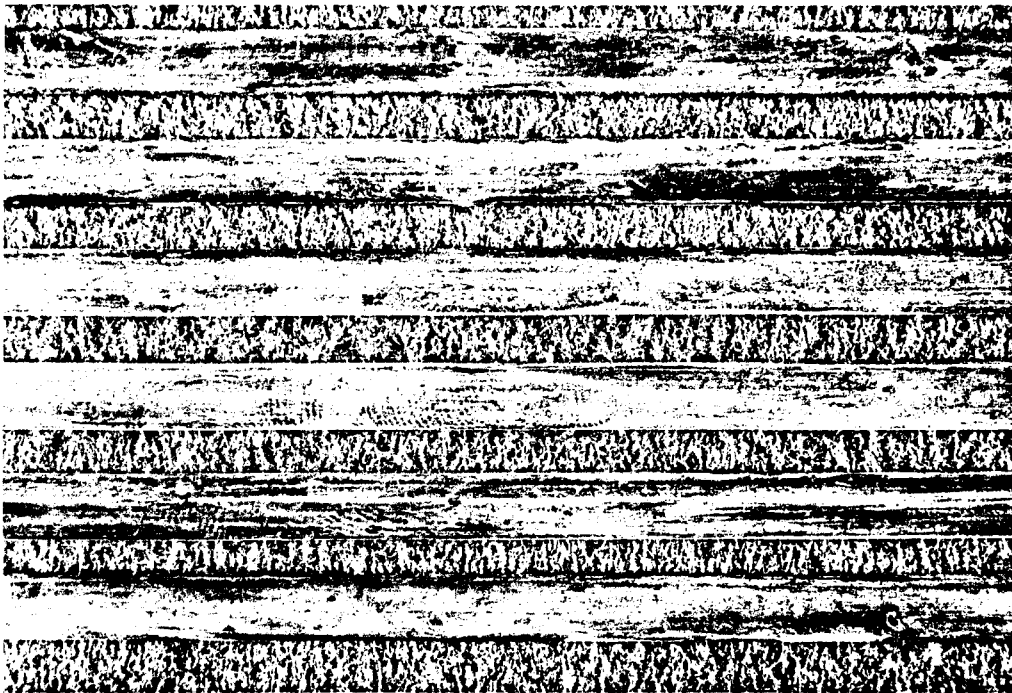


Abb. 22 Zustand der Spannstahloberflächen
(ca. Originalgröße)

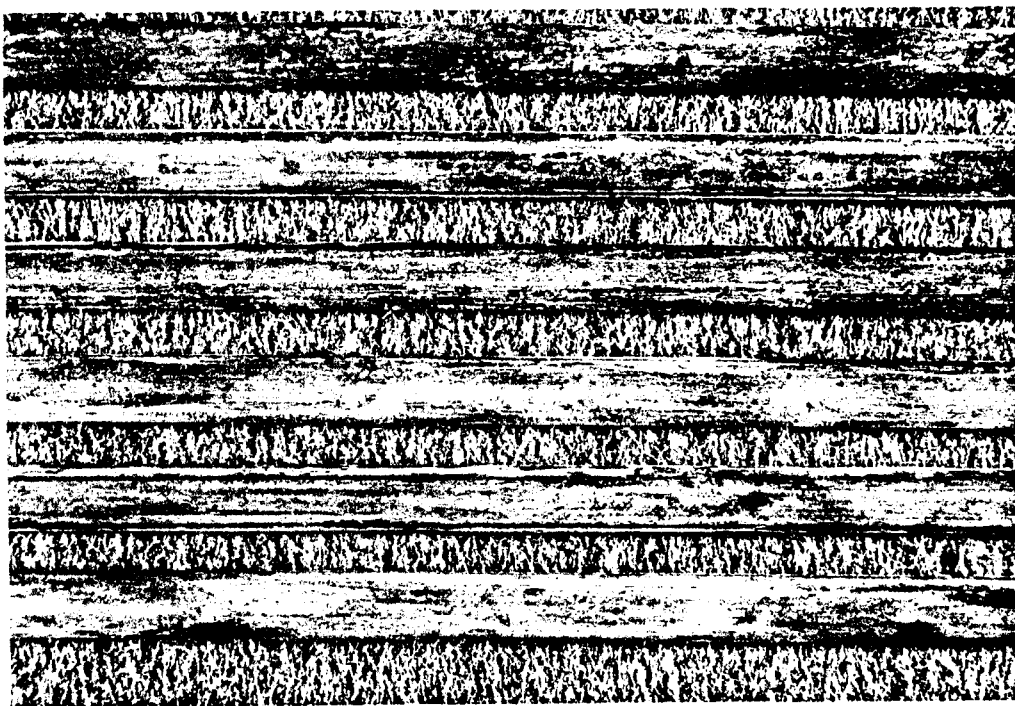


Abb. 23 Zustand der Spannstahloberfläche mit
vereinzeltten Rostpunkten und Linien-
korrosion (ca. Originalgröße)

Vereinzelte sind braune Rostflecken und Linienkorrosion zu erkennen, die sich längs der Zwickel zwischen zwei sich berührenden Drähten gebildet hat. Die Herkunft der kleinen Rostpunkte ist unklar. Zum Teil sind es die Berührungspunkte mit den Hüllrohrwellen, z.T. ist aber eine leichte Korrosion durch Schwitzwasserbefall im Hüllrohr vor dem Verpressen wahrscheinlich. Wie die fast 10-fachen Vergrößerungen der Stahloberflächen in den Abb. 24 und 25 zeigen, liegt keine Narbenkorrosion vor. Im Mikroskop wurde nach Ablösen der Rostprodukte mit verdünnter Zitronensäure eine mittlere Narbentiefe von nur ca. 10 μ mit maximalen Werten um 20 μ ausgemessen.

Die leichten Korrosionserscheinungen hatten erwartungsgemäß keinen Einfluß auf die mechanisch-technologischen Gütekennwerte. Wie die Mittelwertbildung, aber auch die Einzelwerte der Tab. V zeigen, kann eine Abminderung der Gütekennwerte im Vergleich mit den heutigen Zulassungsbedingungen für diese Spannstahlqualität nicht festgestellt werden. Die für einen unmittelbaren Vergleich erforderlichen Kennwerte des neuen Materials der hier untersuchten Spanndrähte aus dem Bauwerk liegen naturgemäß nicht mehr vor.

Die Dauerschwingversuche ließen dagegen erwartungsgemäß eine Differenzierung durch unterschiedliche Wöhlerkurven zwischen den nicht korrodierten und den mit Rostpunkten und Linienkorrosion versehenen Proben erkennen (vgl. Abb. 26 sowie Tabellen VI und VII). Bei einer Oberspannung von $\sigma_{eo} = 0,55 R_m = 919 \text{ N/mm}^2$ ergibt sich für die korrosionsfreien Proben ein $\Delta\sigma = 400 \text{ N/mm}^2$ und für die Proben mit leichten Korrosionsschäden ein $\Delta\sigma = 350 \text{ N/mm}^2$. Erstaunlicher Weise konnte auch bei den leicht korrodierten Proben im Stereomikroskop nicht eindeutig festgestellt werden, daß der Dauerbruch von Rostflecken oder von Korrosionslinien ausging. Diese Abminderung der Dauerschwingfestigkeit um ca. 50 N/mm^2 war jedoch für die Standicherheit des Bauwerks ohne Bedeutung.

Einen Eindruck von den Dauerbruchflächen vermitteln die Abbildungen 27(a) und (b). Das hier gefundene Bruchbild ist für einen kaltgezogenen Draht nicht typisch.

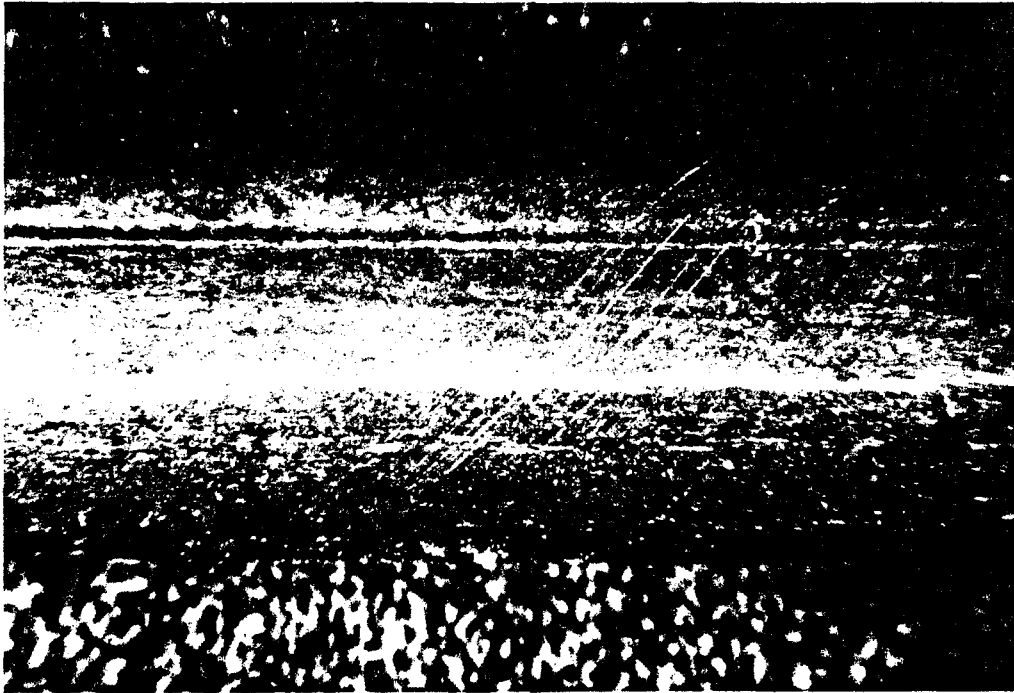


Abb. 24 Detail aus der Oberfläche eines einwandfreien Stahls (Vergrößerung ca. 10-fach)

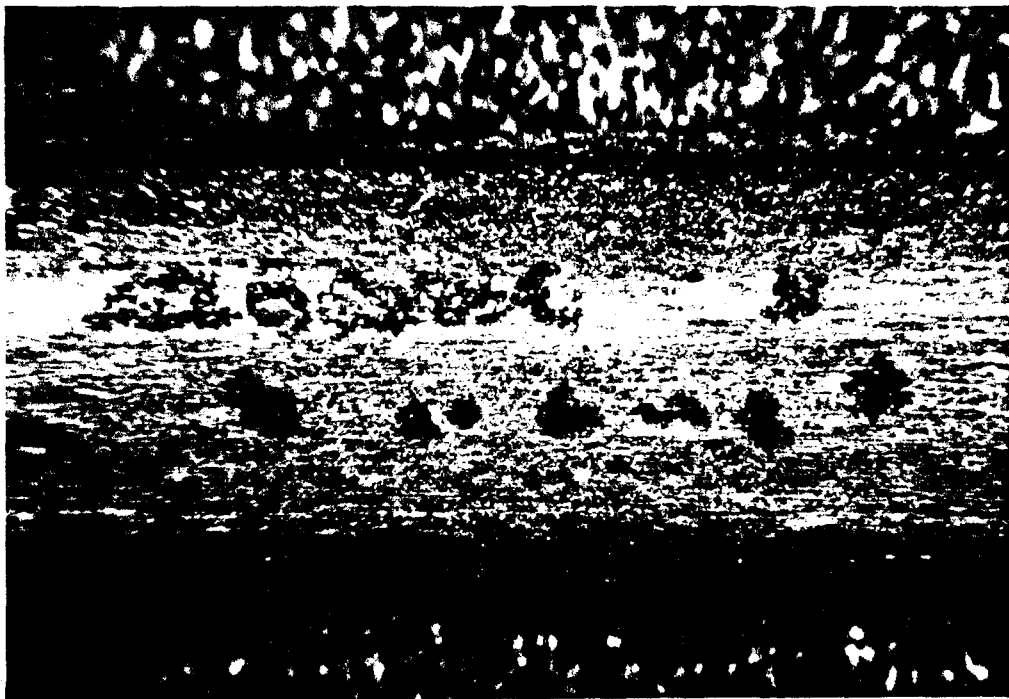


Abb. 25 Korrosionspunkte auf den Spannstahloberflächen im Detail (Vergr. ca. 10-fach)

| Nr. | Ist-Ø (mm) | Dehn- grenze $R_{0,01}$ (N/mm ²) | Streck- grenze $R_{0,02}$ (N/mm ²) | Zugfestig- keit R_{m2} (N/mm ²) | Bruch- dehnung A_{10} (%) | Gleichmaß- dehnung A_g (%) | Bruchein- schnürung Z (%) | Elastizi- tätsmodul E (N/mm ²) |
|-----------|---------------|---|---|--|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| 1 | 6 | 1227 | 1521 | 1730 | 9 | 3,7 | 38,6 | $2,01 \times 10^5$ |
| 2 | 6 | 1298 | 1602 | 1815 | 7,7 | 3,3 | 41,2 | $2,00 \times 10^5$ |
| 3 | 6 | 1298 | 1581 | 1797 | 6,7 | 3,3 | 33,3 | $2,00 \times 10^5$ |
| 4 | 6 | 1355 | 1680 | 1857 | 6,7 | 3,3 | 38,6 | $2,00 \times 10^5$ |
| 5 | 6 | 1355 | 1662 | 1843 | 7,5 | 3,3 | 41,2 | $2,00 \times 10^5$ |
| \bar{m} | 6 | 1307 | 1609 | 1808 | 7,5 | 3,4 | 38,6 | $2,00 \times 10^5$ |

Tab. V Gütekennwerte des Spannstahls von Einzelproben und daraus errechneten Mittelwerten

Stahlgüte : St 1470/1670, rund/glatt, \varnothing 6 mm
 Zustand : Ohne optisch erkennbare Schäden und Korrosion
 Oberspannung σ_{eo} : $0,55 R_m = 919 \text{ N/mm}^2$
 Prüffrequenz f : 125 Hz

| Amplitude $\Delta\sigma$ N/mm^2 | Lastspielzahl N | Bemerkung |
|--|----------------------|------------|
| 500 | 293.000 | Bruch |
| 500 | 340.000 | Bruch |
| 500 | 676.000 | Bruch |
| 500 | 280.000 | Bruch |
| 500 | 337.000 | Bruch |
| 450 | 580.000 | Bruch |
| 450 | 427.000 | Bruch |
| 450 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 450 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 450 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 400 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 400 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 400 | 300.000 | Bruch |
| 400 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 400 | 2.000.000 | kein Bruch |

Tab. VI Ergebnisse von Dauerschwingversuchen an Proben ohne erkennbare mechanische Beschädigungen oder Korrosion (vgl. Abb. 22 u. 24)

Stahlgüte : St 1470/1670, rund/glatt, \varnothing 6 mm
 Zustand : Ohne optisch erkennbare, mechanische Schäden
 vereinzelt Rostflecken ohne Narbenbildung
 Oberspannung σ_{eo} : $0,55 R_m = 919 \text{ N/mm}^2$
 Prüffrequenz f : 125 Hz

| Amplitude $\Delta\sigma$ N/mm^2 | Lastspielzahl N | Bemerkung |
|--|--------------------|------------|
| 500 | 220.000 | Bruch |
| 500 | 216.000 | Bruch |
| 500 | 200.000 | Bruch |
| 500 | 180.000 | Bruch |
| 500 | 170.000 | Bruch |
| 450 | 310.000 | Bruch |
| 450 | 390.000 | Bruch |
| 450 | 219.000 | Bruch |
| 450 | 240.000 | Bruch |
| 450 | 470.000 | Bruch |
| 400 | 1.350.000 | Bruch |
| 400 | 410.000 | Bruch |
| 400 | 2.000.000 | kein Bruch |
| 400 | 1.480.000 | Bruch |
| 400 | 1.550.000 | Bruch |

Tab. VII Ergebnisse von Dauerschwingversuchen an Proben mit leichter Oberflächenkorrosion (Narbentiefe i.M. 10μ). Zum Oberflächenzustand vgl. Abb. 23 u. 25.

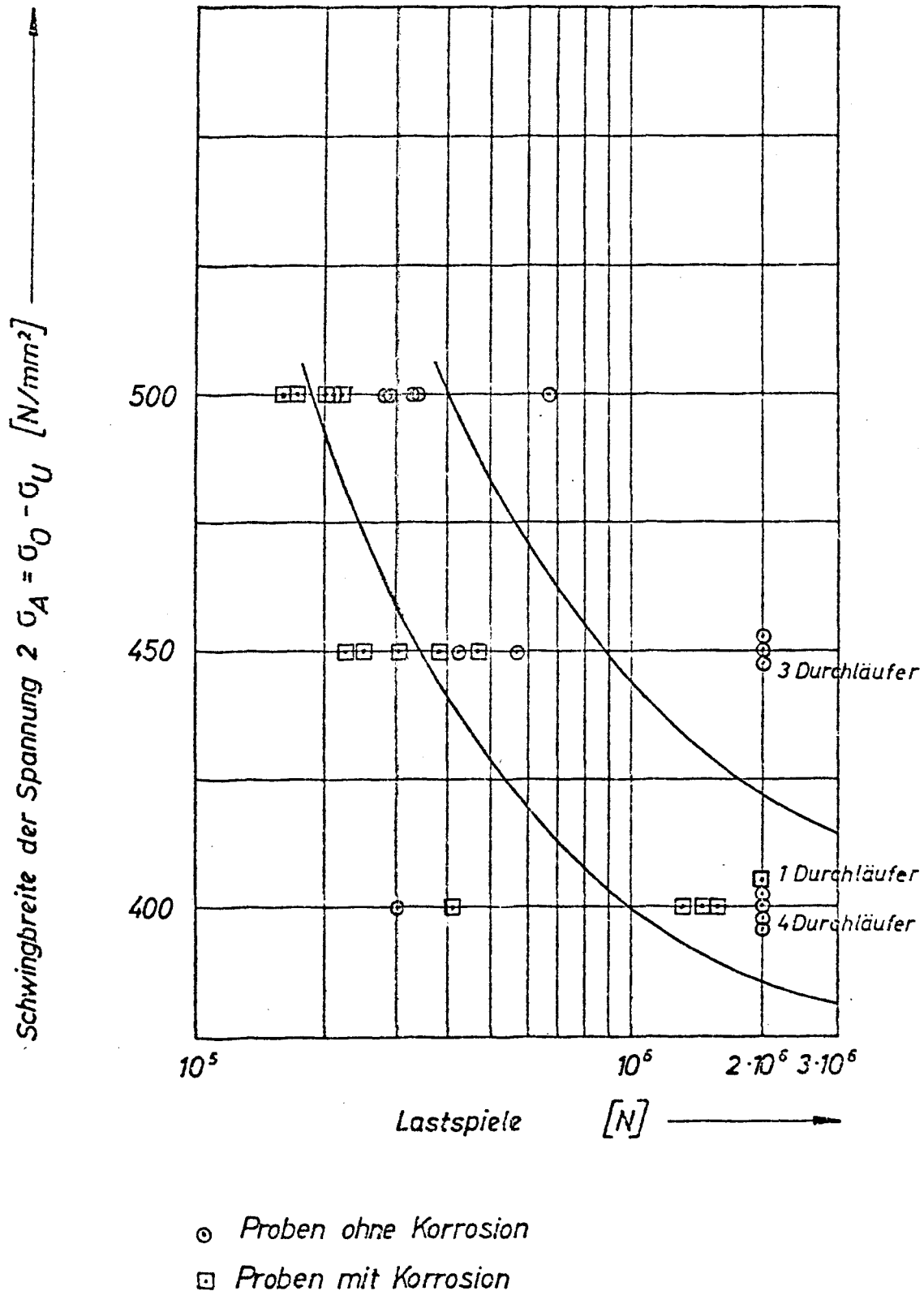


Abb. 26 Wöhlerkurven von blanken Spannstählen und Drähten mit vereinzelt Rostpunkten aus dem gleichen Hüllrohr (vgl. Abb. 24 u. 25)



(a)



(b)

Abb. 27 Typische Bruchbilder aus den Dauerschwingversuchen (a) mit den zugehörigen Probenabschnitten (b)

Es hat seine Ursache mit Sicherheit in der Herstellung (hoher Verformungsgrad beim Ziehen) und nicht in der 16-jährigen Nutzung.

4. Zusammenfassung

Am Brückenbauwerk BW 7728/Os 4.6 wurden unmittelbar vor dem Abbruch der Brücke im November 1980 Materialuntersuchungen mit dem Ziel

- a) eine Analyse über Cl-Gehalt und Cl-Verteilung im Bauwerksbeton zu erstellen, sowie
- b) den Zustand der Spannglieder und der eingebauten Spannglieder zu ermitteln.

Die Untersuchungen wurden vom Niedersächsischen Landesverwaltungsamt - Abt. Straßenbau - im Auftrage des Bundesministers für Verkehr gefördert und als Forschungsarbeit vom Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen, durchgeführt.

Die Cl-Analyse galt in erster Linie zur Beantwortung der Frage, ob Brückenunterseiten durch schnell und häufig darunter hindurchfahrende Fahrzeuge von aufgewirbeltem Tauwasser mit Tausalz nennenswert beaufschlagt werden können. Es hat sich am vorliegenden Bauwerk gezeigt, daß sich der Cl-Gehalt gegenüber dem Ausgangs-Chloridgehalt des Betons an der Fahrbahnplattenunterseite im ungünstigsten Fall verdoppelt hatte:

mittlerer Cl-Gehalt in 0 - 1 cm Tiefe = 0,016 Gew.-%
mittlerer Cl-Gehalt in 1 - 3 cm Tiefe = 0,019 Gew.-%
mittlerer Cl-Gehalt in 3 - 5 cm Tiefe = 0,012 Gew.-%

Als Ausgangs-Chloridgehalt des Bauwerksbetons ergaben sich an Betonproben aus dem Bauwerksinneren Werte zwischen 0,012 und

0,016 Gew.-%, also im Mittel 0,014 Gew.-% (alle Angaben beziehen sich auf das Betongewicht).

Ein Vergleich mit dem bisher zulässigen Cl-Gehalt für Stahlbeton von ca. 0,060 Gew.-% (\approx 0,4 Gew.-% bezogen auf den Zementanteil) zeigt, daß auch an den Stellen mit maximaler Cl-Konzentration (0,023 Gew.-%) eine Gefährdung der Bewehrungsstähle durch Narbenkorrosion niemals bestanden hat. Die geringe Zunahme um 0,002 bis maximal um 0,012 Gew.-% Cl bei 16-jähriger Nutzungsdauer des Bauwerks und hohem Verkehrsaufkommen unter der Brücke deuten darauf hin, daß eine Schädigung von Brückenunterseiten durch aufgewirbeltes Tauwasser mit darin gelösten Tausalzen nicht sehr wahrscheinlich ist. Voraussetzung dafür ist naturgemäß ein einwandfrei ausgeführter Beton.

Diese Voraussetzung war am vorliegenden Bauwerk offenbar in jeder Hinsicht erfüllt:

- a) Der Beton war frei von Rissen, Ausblühungen oder Ausplatzungen.
- b) Die Karbonatisierungstiefen betrugen im Mittel nur 1 - 2 mm, in Einzelfällen fanden sich maximale Karbonatisierungstiefen von 5 mm.
- c) Der Beton erwies sich bei Bohr- und Stemmarbeiten als sehr fest (Bohrkernentnahmen und Festigkeitsermittlungen konnten wegen begrenzter Forschungsmittel nicht durchgeführt werden).

Erwartungsgemäß lagen die Cl-Gehalte an den oberseitig ungeschützten Flächen der Fuß- und Fahrradwege auf der Brückenoberseite höher als an der Unterseite:

mittlerer Cl-Gehalt in 0 - 2 cm Tiefe: 0,032 Gew.-%
mittlerer Cl-Gehalt in 2 - 4 cm Tiefe: 0,028 Gew.-%.

Diese Werte sind als unbedenklich anzusehen. Lediglich an einer Meßstelle wurde der zulässige Cl-Gehalt von ca. 0,060 G-w.-% um etwa 0,020 Gew.-% überschritten.

Die insgesamt höchsten Cl-Gehalte ergaben sich im Spritzwasserbereich der Pfeiler:

mittlerer Cl-Gehalt in 0 - 2 cm Tiefe = 0,041 Gew.-%

mittlerer Cl-Gehalt in 2 - 4 cm Tiefe = 0,021 Gew.-%

mittlerer Cl-Gehalt in 4 - 6 cm Tiefe = 0,016 Gew.-%.

Auch hier erreicht der Mittelwert der oberflächennahen Schicht noch nicht den zulässigen Wert, der jedoch mit Werten von 0,63 Gew.-%, 0,66 Gew.-% und 0,092 Gew.-% zweimal nur knapp, einmal jedoch deutlich überschritten wurde. Die Höchstwerte fanden sich dabei in der Regel an den der Fahrbahn und den der Fahrtrichtung zugewandten Flächen der Pfeiler.

Nach den Ergebnissen dieser Forschungsarbeit ist die Tausalzbeaufschlagung vertikaler Bauteile im Spritzwasserbereich höher anzusetzen als die Tausalzbeaufschlagung von Brückenunterseiten durch aufgewirbeltes Wasser infolge hoher Fahrgeschwindigkeiten und Verkehrsdichten. Im Spritzwasserbereich sind Schäden in Abhängigkeit von der Betonqualität und der Verkehrsdichte während der Nutzungsdauer durchaus möglich, so daß derartige Flächen einer besonderen Inspektion und Pflege bedürfen.

Die am Bauwerk ebenfalls durchgeführte Untersuchung des Erhaltungszustandes der Spannglieder zeigte, daß bei sorgfältiger Verpressung der Hüllrohre - wie im vorliegenden Bauwerk geschehen - während der Nutzungsdauer mit Schädigungen am Spannstahl nicht gerechnet werden muß, so lange nicht korrosionsfördernde Ionen von außen durch Undichtigkeit Zutritt zum Spannstahl erlangen. Die freigelegten Hüllrohre waren frei von jeder nennenswerten Korrosion und im Inneren metallblank.

Auch der Spannstahl zeigte in seinen mechanisch-technologischen Gütekenwerten keine Abminderung gegenüber den für diese

Stahlqualität heute gültigen Zulassungswerten. Die Spannstahloberflächen wiesen vereinzelt leichte Korrosionserscheinungen in Form von kleinen Rostpunkten oder Linienkorrosion auf. Im Bereich dieser Schadstellen wurden Narben mit i.M. nur 10 μ Tiefe, maximal um 20 μ Tiefe gefunden. Es ist anzunehmen, daß diese Narben durch Schwitzwasser vor dem Verpressen entstanden sind. Sie beeinflußten erfahrungsgemäß die Gütekennwerte im Zugversuch nicht, setzten jedoch die Dauerschwingfestigkeit um etwa 50 N/mm² auf 350 N/mm² herab, was jedoch auf die Standicherheit des Bauwerks auch langfristig mit Sicherheit keine Folgen gehabt hätte.

Untersuchungen an der Schlauffbewehrung konnten wegen der knappen Forschungsmittel nicht durchgeführt werden. Aufgrund des einwandfreien äußeren Erscheinungsbildes der Betonstähle und des von Schadstoffen freien Betons hoher Qualität besteht jedoch kein Grund zu der Annahme, daß die mechanisch-technologischen Gütekennwerte des Betonstahls während der 16-jährigen Nutzungsdauer des Brückenbauwerks eine Abminderung erfahren haben.